



Les Entretiens

de Bichat

13 sept. 2012

Salle 341

12h45 – 13h45

Partenaire industriel ■

## Le nucléaire : de la perception du risque radiologique à la réalité

Session organisée par EDF

J.P. Gérard\*, P. Laroche\*\*, M. Schlumberger\*\*\*

\* PU-PH de Cancérologie et de Radiothérapie, Centre de lutte contre le cancer Antoine Lacassagne, Nice

Expert du Comité d'Information des Professions de Santé d'EDF

\*\* Médecin chef des Services, Professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA), Clamart

Expert du Comité d'Information des Professions de Santé d'EDF

\*\*\* PU-PH de Cancérologie, Université Paris-Sud.

Chef du Service de Cancérologie - Médecine Nucléaire, Institut Gustave Roussy, Villejuif.

Expert du Comité d'Information des Professions de Santé d'EDF

### RÉSUMÉ

Les rayonnements ionisants étaient déjà présents avant l'apparition de la vie sur terre. Produits de façon artificielle depuis un siècle à des fins médicales et industrielles, ils ont transformé le pronostic de millions de patients et notre vision du monde. L'historique de ces quelques décennies et l'actualité récente de ces dernières années en matière de nucléaire montrent chaque jour combien il est nécessaire de faire le point sur les fondamentaux de cette science et remettre les données validées au cœur des débats.

Parmi les éléments essentiels à retenir, il y a la notion de dose absorbée comme unité de mesure la plus importante à prendre en compte pour apprécier les effets du nucléaire. Peu de contaminants potentiels, qu'ils soient naturels ou artificiels, peuvent être mesurés et maîtrisés de manière aussi précise et sensible que les rayonnements ionisants. Cette situation a permis non seulement de mettre en place des protocoles rigoureux de comportements à adopter pour limiter les risques mais également de définir les conduites à tenir en cas d'accident. Là encore, face aux aspects parfois spectaculaires de ces derniers, il convient de mettre les faits en perspective afin que la contribution des sciences liées au nucléaire puisse continuer à servir au mieux les besoins de l'humanité.

### MOTS-CLÉS

contamination, dose, irradiation, radiothérapie, rayonnements ionisants

### Les rayonnements au quotidien – Une affaire de dose

#### *Les rayonnements ionisants, un phénomène d'abord naturel*

Un rayonnement est dit ionisant si l'énergie qu'il transporte lui permet à travers des mécanismes physico-chimiques complexes d'altérer les molécules d'ADN des tissus qu'il traverse. Dans la pratique médicale, les rayonnements ionisants (RI) rencontrés les plus souvent sont les rayons X et  $\gamma$ . Ce sont des photons

de haute énergie appartenant au vaste spectre des ondes électromagnétiques. Les rayons  $\alpha$ , les rayons  $\beta$ , les protons et neutrons appartiennent également aux RI. Le radon des roches granitiques représente une autre source d'irradiation naturelle. C'est ainsi que différents types de RI contribuent depuis plus de quatre milliards d'années, au bain permanent de radioactivité naturelle, parfois même forte, dans lequel se développe la vie sur terre. On sait produire, depuis maintenant environ un siècle, des RI artificiels, notamment des rayons X et  $\gamma$ , pour des besoins médicaux et industriels.

#### *La dose absorbée, l'unité de mesure la plus importante à prendre en compte*

Les chambres d'ionisations ou détecteurs de particules ainsi que les dosimètres personnels permettent de mesurer précisément la dose délivrée à une cible par les RI. Les mesures utilisées s'expriment de deux façons différentes. Lorsqu'il s'agit d'exprimer la dose absorbée, c'est-à-dire la dose physique mesurable effectivement reçue par les tissus, l'unité de mesure est le gray (Gy). Dans le cas des faibles doses et dans le domaine de la radioprotection, pour exprimer le risque aléatoire sur les tissus humains, on convertit les grays en sieverts (Sv) voire en millisieverts (mSv) pour les très faibles doses, afin de prendre en compte le plus précisément possible la nature des RI et des tissus exposés. On parle alors de dose efficace, qui dans la pratique, pour les rayons X et les rayons  $\gamma$ , montre une équivalence entre ces deux unités de mesure, soit  $1\text{ Gy} = 1\text{ Sv}$ .

Ainsi la dose efficace reçue chaque année à Paris provenant de l'exposition naturelle a été évaluée à 2,5 mSv. A Clermont Ferrand, cette dose annuelle est de 5 mSv, soit le double de celle de Paris car cette ville est située au cœur d'une région granitique. Dans certaines régions du monde comme le Kerala en Inde, la dose efficace liée à l'irradiation naturelle peut atteindre jusqu'à 70 mSv par an. En ce qui concerne l'irradiation artificielle, ce sont les appareils de radiodiagnostic et notamment les scanners qui contribuent le plus à l'exposition de la population. La dose délivrée par un scanner peut atteindre 10 mGy.

### ***De l'importance de la dose seuil***

Les doses fortes supérieures à 2 Gy entraînent la mort cellulaire et lorsqu'elles atteignent un certain niveau, au dessus de celui de la dose seuil, elles entraînent également des effets tissulaires obligatoires. Les organes les plus radiosensibles (moelle hémato-gène, gonade, intestin, cristallin etc.) peuvent être lésés à partir de 1 à 2 Gy. La dose de 4 Gy reçue sur le corps entier et non pas en un seul endroit du corps correspond à la dose létale 50 %. Au cours des 3 premiers mois de la grossesse, une irradiation du fœtus peut entraîner un excès de malformation. Par contre ce risque ne s'observe que si la dose dépasse 250 mGy et est orientée directement sur l'abdomen de la mère. En conséquence, les examens radiologiques ne sont pas forcément contre-indiqués chez la femme enceinte, par contre le fœtus ne doit jamais être irradié directement et doit être protégé chaque fois que possible du rayonnement diffusé. Un scanner du crâne par exemple, n'a pas d'incidence sur le foetus mais est contre-indiqué par principe de précaution.

### ***Absence d'effet héréditaire chez l'homme pour les faibles doses***

Les doses faibles inférieures à 100 mSv permettent aux cellules irradiées de survivre, voire même de réparer totalement les lésions induites par les RI à l'ADN. Des doses intermédiaires entre 200 et 1 000 mSv permettent elles-aussi la survie des cellules, mais peuvent exposer un individu de façon aléatoire à des « réparations fautives » de l'ADN. Ces réparations sont dites « fautives » car elles peuvent être à l'origine de certains effets cancérogènes associés aux RI.

Alors qu'on peut observer chez des descendants de souris irradiées un excès de malformation héréditaire, un tel effet héréditaire n'a pas été observé chez l'homme. En effet, il n'y a eu aucun excès de malformation, ni chez les descendants de 1<sup>ère</sup> génération, ni chez les descendants de 2<sup>ème</sup> génération issus de parents irradiés à Hiroshima - Nagasaki.

Les RI peuvent néanmoins être cancérogènes et ce risque a été reconnu dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle. C'est pourquoi la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) a été créée à ce moment là, et plus précisément en 1928, pour définir des règles strictes de radioprotection.

### ***Risques cancérogènes liés à l'irradiation, une question de dose et d'âge***

Les études menées à la suite de l'explosion atomique de Hiroshima – Nagasaki ont montré que les RI au-delà d'une certaine quantité pouvaient entraîner, dans les 5 premières années, des leucémies et, dans un délai de 10 et 50 ans, des cancers solides. Avec un recul de plus de 50 ans, on estime que sur 80 000 japonais survivants, 15 000 sont décédés d'un cancer. Sur ces cas de décès par cancer, 500 (soit 3,3 %) sont en excès par rapport à une population comparable non irradiée et donc attribuables à l'irradiation reçue, évaluée entre 500 et 2 500 mSv. Cet excès de risque concerne surtout les personnes irradiées avant l'âge de 20 ans. Il est beaucoup plus faible chez

les personnes irradiées après l'âge de 50 ans. Ces mêmes études épidémiologiques chez les personnes ayant reçu des doses de RI en-dessous de 100 mSv n'ont relevé aucun excès de décès, soit par leucémie soit par tumeur solide<sup>(1)</sup>.

Dans la pratique médicale, la radiothérapie utilise des rayons à fortes doses (jusqu'à 70 ou 80 Gy délivrés en plusieurs séances pour un cancer de la prostate par exemple) pour traiter de façon ciblée certaines tumeurs. Diverses études ont donc cherché à savoir si cette thérapeutique pouvait induire des seconds cancers. Ainsi, on a pu constater au niveau d'une vaste enquête menée aux USA sur 600 000 patients guéris d'un premier cancer après radiothérapie, 60 000 deuxièmes cas de cancers. Parmi ces deuxièmes cas de cancers, 3 000 ont été estimés liés à la radiothérapie reçue 15 ans plus tôt, soit 5 excès de cancer pour 1 000 patients traités<sup>(2)</sup>. Ces données suggèrent aussi que la plupart de ces seconds cancers sont liés à d'autres facteurs (génétiques, mode de vie ou autre).

En matière de radiodiagnostic et donc de faibles doses, une étude récente menée chez l'enfant montre que les scanners, si la dose cumulée dépasse 50 mGy, pourraient entraîner un excès de leucémies et de tumeurs cérébrales avec un risque relatif voisin de 3. En risque absolu il s'agit en fait d'un cas en excès pour 10 000 scanners du crâne 10 ans après le premier scanner<sup>(3)</sup>. Là encore, il convient, comme le soulignent les auteurs, de mettre l'augmentation du risque relatif en perspective avec le risque absolu qui reste très faible et de conclure que le bénéfice clinique reste bien évidemment en faveur de l'examen dans le respect des bonnes pratiques. Ces résultats viennent conforter une méta-analyse de 18 études regroupant plusieurs milliers de cas à travers le monde et effectuée par l'IRSN qui ne retrouve aucune association significative entre l'exposition médicale à visée diagnostique pendant l'enfance et le risque de cancer<sup>(4)</sup>.

Il est intéressant d'analyser également les études portant sur les leucémies survenant chez des enfants vivant à proximité des centrales nucléaires. Elles rapportent trois cas d'agrégats de leucémies parmi 198 sites nucléaires dans le monde. A chaque fois, c'est le même chiffre de 5 cas en excès (à rapprocher de plusieurs milliers de cas spontanés) qui a été noté. Rien n'indique un lien quelconque avec les très faibles doses (< à 0,01 mSv) auxquelles sont exposés ces enfants et leurs parents vivant à proximité des centrales<sup>(5)</sup>. De même on rappelle que dans les régions du monde où des centaines de milliers de personnes sont exposées à une dose d'irradiation naturelle dépassant 50 mSv par an, aucun excès de cancer ni de malformation n'ont été observés.

### ***Utilisation des examens radiographiques***

Le médecin, notamment le médecin généraliste, est le principal prescripteur d'examens radiographiques. Or, ces examens et en particulier les scanners (qui peuvent délivrer une dose proche de 10 mGy), sont la source principale d'irradiation artificielle de la population. Il convient donc tout naturellement de les limiter au minimum nécessaire à une bonne pratique médicale. Le code de déontologie, les recommandations de bonnes pratiques et la loi conduisent tous les médecins à appliquer au quotidien les principes de radioprotection incontournables suivants :

- **La justification :** toute prescription d'acte radiologique doit être justifiée et avoir un bénéfice attendu toujours bien supérieur au risque potentiel.
- **L'optimisation :** elle consiste en radiologie (comme en médecine nucléaire ou en radiothérapie) à distribuer la dose d'irradiation la plus faible possible pour atteindre le but médical que l'on s'est fixé. C'est l'application du principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

Au total comme souvent en médecine et dans la vie en général, «la vérité est dans le juste milieu». Si le laxisme et la négligence coupables sont inacceptables en matière de radioprotection, il faut aussi absolument se garder de toute peur injustifiée et souvent mauvaise conseillère.

### **Irradiation et contamination – Des conséquences et des prises en charge différentes**

#### *Origine des expositions accidentelles*

Les expositions accidentelles aux rayonnements ionisants peuvent provenir d'accidents médicaux, industriels ou nucléaires. Ces événements sont rares, et chacun est unique. Ils diffèrent de par la taille de l'accident, les formes cliniques, leurs conséquences sanitaires et du type de victimes touchées (malades, travailleurs, sauveteurs, public). D'autre part, on peut noter des effets aigus, ainsi que des risques à long terme, couplés à des effets indirects, notamment en ce qui concerne les aspects psychosociologiques.

Les deux seuls modes d'exposition à des sources de radiations ionisantes, sont la contamination radioactive et l'irradiation à distance. Dans le cas de la contamination, il existe un contact direct entre l'organisme et la matière radioactive, soit en surface, lors d'une contamination externe, soit à l'intérieur des limites du corps en situation de contamination interne. Il est important de souligner que les risques réels de la contamination, hormis le cas des lésions cutanées induites par contamination externe, sont des effets à long terme de cancérogenèse, survenant plusieurs années après l'exposition.

Par opposition, dans les cas d'irradiation, il n'existe pas de contact entre la source et la victime. L'effet résulte de la propagation des radiations ionisantes dans l'espace, parfois à grande distance. L'irradiation peut être localisée à un segment du corps, où il peut s'agir d'une irradiation globale de l'ensemble de l'organisme. Dans ce dernier cas, les rayonnements ionisants proviennent de sources à forte activité, comme celles destinées à la radiothérapie, ou sont dûs à des expositions prolongées et répétées<sup>(6)</sup>.

#### *Prise en charge dans le cas de la contamination*

La dose déposée dans un tissu ou dose absorbée est un phénomène cumulatif dans le temps. Elle détermine les effets biologiques. Le dépôt de la dose est toujours un phénomène progressif et la vitesse de dépôt, appelée débit de dose, est fondamentale. Une fois qu'une dose a été déposée dans un tissu, il n'est plus possible de la retirer. Si l'on veut agir, il faut donc

interrompre le processus physique d'exposition. En contamination radioactive, ce processus se déroule toujours à débit beaucoup plus faible qu'en irradiation où la totalité de la dose peut être reçue en quelques secondes, voire moins. Dès lors, retirer l'agent contaminant arrête le dépôt de la dose et limite donc les effets qui en résultent. De là procède la priorité de la prise en charge d'une victime contaminée qui est de : décontaminer au plus vite pour arrêter l'accumulation de la dose.

En ce qui concerne la contamination externe, la décontamination peut retirer la totalité ou presque de l'agent contaminant et son efficacité peut donc être totale. En contamination interne, la situation est plus complexe, car, pour décrire la décroissance de la radioactivité présente dans le corps, il est nécessaire de tenir compte de la décroissance physique du contaminant radioactif et de sa décroissance biologique correspondant à son élimination dans les émonctoires naturels, urines et selles.

La mise en œuvre d'une décontamination interne vise à accélérer l'élimination du contaminant. Toutefois, à la différence de ce qui se passe en contamination externe, il est impossible d'éliminer la totalité du contaminant et la décontamination interne sera de ce fait toujours partielle. Ceci justifie les précautions à prendre pour éviter de transformer une contamination externe en contamination interne. En accélérant l'élimination des contaminants, la décontamination interne réduit cependant la dose totale reçue par la victime et, de nouveau, plus elle est précoce, plus le bénéfice dosimétrique sera grand.

Au total, en matière de décontamination, même si les risques sont tardifs par rapport à la contamination, l'urgence est le traitement médical (l'urgence médicale prime sur l'urgence radiologique), afin de minimiser la dose totale de rayonnements ionisants qui sera absorbée par la victime. Cette prise en charge en cas de contamination est très bien décrite et reste relativement simple.

Divers produits sont disponibles pour le traitement d'une situation de contamination interne et tous sont caractérisés par la relative innocuité des posologies proposées. Ainsi, le principe de mise en œuvre du traitement est très simple et permet de répondre parfaitement à l'exigence de précocité. Il s'agit de démarrer un traitement à l'aveugle, de façon concomitante à la réalisation de prélèvements radio-toxicologiques qui auront pour but de confirmer la réalité de la contamination interne et d'en mesurer l'importance. Dans ce cas, l'ensemble des produits disponibles sont administrés à toute personne suspecte de contamination interne, soit une personne sans protection faciale ou blessée, trouvée dans une zone contaminée par des radionucléides quelle qu'en soit la cause. Ces produits n'auront aucun effet particulier dans le cas où les prélèvements indiquerait une absence de contamination.

#### *Prise en charge dans le cas de l'irradiation*

La prise en charge des irradiés est complexe et multidisciplinaire. Les victimes d'irradiations localisées sont en fait des brûlés radioologiques dont les plaies sont à l'origine d'une réaction inflammatoire générale souvent intense, à laquelle s'ajoute un risque infectieux qui peut être majoré par les conséquences immuno-

logiques de l'irradiation<sup>(7)</sup>. L'évaluation rapide de la dose permet à l'équipe soignante de prévoir les lésions et symptômes à venir et donc d'anticiper sur l'évolution médicale future.

Le traitement repose sur une cicatrisation optimale du patient. En cas de nécrose, le traitement de choix repose sur l'excision-greffe précoce en sachant que la date et l'étendue du geste chirurgical sont des choix difficiles.

Ce geste chirurgical pourrait être accompagné d'injection de cellules souches mésenchymateuses (CSM).

Au total, les expositions accidentelles restent un phénomène rare, qui nécessite une prise en charge spécialisée et adaptée en fonction du mode d'exposition (contamination ou irradiation).

Une victime contaminée impose des précautions, vis-à-vis du risque radiologique, pour le patient et l'équipe soignante, en revanche la prise en charge médicale est relativement simple.

Le patient contaminé est exposé à l'apparition d'effets aléatoires, soit un risque à long terme (cancérogenèse) mais paradoxalement la priorité est au traitement initial qui doit être aussi précoce que possible.

Une victime irradiée, elle, n'impose aucune précaution particulière, vis-à-vis du risque radiologique, pour le patient ou l'équipe soignante. Par contre la prise en charge médicale est généralement complexe. Le patient est exposé à l'apparition d'effets obligatoires, soit un risque à court terme, mais la priorité n'est pas le traitement mais l'évaluation dosimétrique car c'est elle qui conditionnera la stratégie thérapeutique et le pronostic.

Les expositions liées aux RI sont peu fréquentes, il existe de nombreuses idées reçues sur ce sujet. C'est pourquoi, une mise en perspective des risques et un rappel des données scientifiques disponibles permettent de remettre les choses à leur juste place.

## Mise en perspective des risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants

### *Risque des rayonnements et risque d'autres polluants*

Le suivi des personnes irradiées, soit lors des explosions atomiques, soit dans le cadre de la prise en charge d'une pathologie bénigne ou maligne, a démontré que l'exposition aux rayonnements ionisants augmente le risque de cancer et de leucémies et de certaines autres pathologies dans ces populations. Il existe aussi un sur-risque lié au jeune âge. Ce sur-risque a, entre autres, été retrouvé après l'explosion de Tchernobyl, où on a pu observer un important excès de cancers de la thyroïde chez les enfants, alors que chez les adultes il n'y a eu aucune augmentation de ce type de cancer.

En matière de risque de cancer pour la population, l'essentiel à retenir nous vient des études épidémiologiques ; ces dernières montrent clairement que les causes de cancer les plus fréquentes restent de très loin le tabac et la consommation excessive d'alcool, où le cumul des deux<sup>(8)</sup>. Moins de 1% des cancers sont liés à une exposition aux RI. Ainsi et pour que la santé

publique puisse pleinement jouer son rôle en matière de prévention, il faut éviter que l'actualité ou des événements exceptionnels, sans pour autant nier leur importance, n'occultent ces faits primordiaux.

Les méthodes actuellement disponibles de détection des contaminations radioactives (ex. compteur Geiger) peuvent détecter jusqu'à de très faibles activités radioactives qui, en général, ne justifient aucune mesure prophylactique. Ainsi, les effluents radioactifs des centrales nucléaires qui délivrent des doses annuelles aux populations de moins de 5µSv, soit 500 fois inférieure à la dose annuelle moyenne de la radioactivité naturelle en France, sont sans risque pour les riverains. Par ailleurs, comme la dose délivrée par voie externe est mesurée en routine par des dosimètres opérationnels chez tous les personnels travaillant près de sources radiologiques, les possibilités de contrôles et de réajustement des activités de ces personnes se font de manière précise et régulière. La réglementation existante en matière d'exposition aux RI a toujours eu pour objectif de prévenir les effets négatifs sur la santé des expositions professionnelles répétées et cumulées à certains facteurs de risque. Elle évolue sous le contrôle d'autorités scientifiques indépendantes nationales et internationales. A l'inverse, la détection d'autres polluants industriels ou autre est souvent plus compliquée. Les facteurs environnementaux jouent également un rôle important dans la genèse du cancer<sup>(8)</sup>. Beaucoup d'autres facteurs carcinogènes échappent à toute mesure et contrôle, contrairement aux rayonnements ionisants.

### *La dose collective : un mauvais concept*

L'effet des très faibles doses reste sujet à controverse. On a vu récemment des calculs faits à partir du concept de la dose collective (somme des doses individuelles, même minimes, reçues par une population importante), ceux-ci n'ont pas de sens biologique<sup>(9)</sup>. En effet, alors que la relation entre la dose et l'effet est linéaire pour des doses > 100 mSv, pour des doses < 100 mSv, l'effet est souvent si faible qu'il est pratiquement impossible d'en extrapoler des effets potentiels en raisonnant à partir de la dose collective et des effets des doses « fortes »<sup>(9,10)</sup>. Ce concept a malheureusement conduit à des chiffres d'incidence de cancers liés à Tchernobyl très exagérés. Il a également conduit à générer des craintes irraisonnables de survenue de cancers du sein après mammographie de dépistage. En fait, si le dépistage n'a pas montré son intérêt en termes de rapport coût-bénéfice chez les femmes de moins de 50 ans, son bénéfice n'est pas remis en cause chez les femmes de 50 ans et plus<sup>(11)</sup>.

### *Dépistage et augmentation du risque, des idées fausses à combattre*

Il faut insister sur le fait qu'en dehors des régions limitrophes d'Ukraine, de Biélorussie et de Russie, aucune augmentation des cancers de la thyroïde n'a été attribuée à la contamination liée à l'accident de Tchernobyl. L'augmentation de l'incidence du cancer de la thyroïde observée dans la plupart des pays industrialisés, dont la France, depuis les années 1970 doit donc être définitivement attribuée à d'autres facteurs dont

un meilleur dépistage des petits cancers de la thyroïde par échographie et cytoponction, l'augmentation de la fréquence de l'obésité, les taux de tabagisme qui continuent à rester relativement élevés, notamment chez les femmes, et la nette amélioration de la pratique médicale en général et en oncologie en particulier.

En ce qui concerne plus particulièrement les cancers de la thyroïde, la majorité des petits cancers de cette glande peuvent rester méconnus sans progresser, et ne sont découverts que lorsqu'ils sont recherchés. En France, la dose délivrée à la thyroïde des enfants à la suite de l'accident de Tchernobyl a été au maximum de quelques mSv dans l'est du pays, soit de l'ordre de grandeur de l'irradiation naturelle annuelle. De plus, dans les années qui ont suivi l'accident, les registres n'ont décelé aucune augmentation de l'incidence des cancers de la thyroïde chez l'enfant. Par ailleurs, la tendance temporelle à l'augmentation de l'incidence du cancer thyroïdien a été plus importante dans l'ouest de la France – région sans aucune retombée radioactive – que dans l'est du pays.

En pratique médicale, la dose reçue par examen doit être optimisée (meilleur réglage et nouvelle technique du scanner, optimisation des protocoles, augmentation du nombre de RMN disponible en France, diminution de l'activité administrée en médecine nucléaire) ; un suivi dosimétrique des patients et des professionnels doit être effectué respectivement par un physicien médical et par la Personne Compétente en Radioprotection. Dans l'industrie, la surveillance des personnels (dosimétrie opérationnelle) est la même que pour le personnel médical.

Nous insisterons donc sur la nécessité de replacer de façon systématique les données scientifiques au centre du débat et ce, au-delà des aspects sensationnels (au sens propre du terme), sans qu'il soit question de minimiser ou occulter des risques qui sont réels mais qui doivent être considérés à leur juste mesure. Les avancées liées au nucléaire ont transformé le pronostic de millions de patients et fait évoluer de façon fondamentale la compréhension de notre environnement. C'est dans cette perspective que nous souhaitons inscrire notre démarche.

## RÉFÉRENCES

- 1 - Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A et al. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, report 14, 1950-2003: an overview of cancer and noncancer diseases. *Rad Res* 2012;177: 229.
- 2 - Berrington de Gonzalez AB, Curtis RE, Kry SF et al. Proportion of second cancers attributable to radiotherapy treatment in adults: a cohort study in the US SEER cancer registries. *Lancet Oncol* 2011;12:353.
- 3 - Pearce MS, Salotti JA, Little MP et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet Oncol* 2012;7 (Epub ahead of print).
- 4 - Baysson H, Etard C, Brisson HJ et al. Expositions radiologiques à visée diagnostique pendant l'enfance et risque de cancer : bilan des connaissances et perspectives. *Archives de Pédiatrie* 2012 ;19 :64.
- 5 - Les études épidémiologiques des leucémies autour des installations nucléaires chez l'enfant et le jeune adulte: revue critique. Rapport IRSN, coordonné par D Laurier, 2008, [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)
- 6 - Foehrenbach, Laroche P, de Carbonnières H, Mantzarides M, Bonardel G, Gontier E. Prise en charge hospitalière initiale de victimes irradiées et contaminées dans un contexte d'exposition accidentelle de populations. *Médecine nucléaire - imagerie fonctionnelle et métabolique*, 2006 ; 30 : 8 : 452-463.
- 7 - Stephanazzi J, Bargues L, Curet PM, Lebever H, Carsin H. Le traitement du syndrome cutané radiologique. In *Menace terroriste approche médicale*. Editions John Libbey Eurotext, 2005 ; 112-122.
- 8 - Irigaray P and Coll. Lifestyle-related factors and environmental agents causing cancer: an overview. *Biomed Pharmacother*. 2007 Dec; 61 (10): 640-58. Epub 2007 Nov 20.
- 9 - Feinendegen LE. Evidence for beneficial low level radiation effects and radiation hormesis. *Br J Radiol*. 2005 Jan;78(925):3-7.
- 10 - Tubiana M. Cancer Prevention of cancer and the dose-effect relationship: the carcinogenic effects of ionizing radiations *Radiother*. 2009 Jul; 13 (4): 238-58. Epub 2009 Jun 17.
- 11 - Kopans D. The most recent breast cancer screening controversy about whether mammographic screening benefits women at any age: nonsense and nonscience. *AJR* 2003; 180:21-26 0361-803X/03/1801-21